

Serie Geográfica

Nº. 10 - 2002: 143 - 163

I.S.S.N.: 1136 - 5277

LAS INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA (ARGENTINA) Y LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

Américo Degioanni Sasía, José Manuel Cisneros y Alberto Cantero Gutiérrez

Facultad de Agronomía y Veterinaria

Universidad Nacional de Río Cuarto

Ex Ruta 36 Km 601

5800 Río Cuarto Argentina

adegioanni@ayv.unrc.edu.ar

Ana Camarasa Belmonte

Departamento de Geografía

Facultad de Geografía e Historia

Universidad de Valencia

Avda. Blasco Ibáñez, 28

46010 Valencia.

ana.camarasa@uv.es

RESUMEN

En este trabajo se presentan tres ejemplos de aplicación de los SIG y teledetección para el estudio de las inundaciones en el sudeste de la provincia de Córdoba (Argentina). En esta región las inundaciones constituyen el riesgo natural que más afecta al desarrollo sostenido de la región. La conjunción de factores naturales y antrópicos desencadenan recurrentes eventos de inundación, produciendo pérdidas millonarias en una región que depende exclusivamente de la producción agropecuaria. El estudio de este fenómeno mediante las tecnologías de la información geográfica (teledetección y SIG) han proporcionado bases de datos y herramientas de análisis que facilitan la planificación y gestión del riesgo.

PALABRAS CLAVE:

Inundación, teledetección, SIG.

ABSTRACT

In this work we present three experiences in the application of GIS and remote sensing to the study of flood in the southeast of Córdoba Province, Argentina. In this region floods are the main natural risk affecting the possibilities for sustainable development. Natural and anthropic factors generates recurrent flood situations, with strong monetary losses in a region whose economy depends on cattle and agriculture. The application of geographic information technologies (GIS and remote sensing) to the study of this phenomenon provides decision makers with accurate planning and risk management tools.

KEY WORDS:

Flood, remote sensing, GIS.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen uno de los riesgos naturales que con mayor incidencia afectan a todo el sector sudeste de la provincia de Córdoba, en Argentina. Se trata de una zona de gran extensión, cuya topografía eminentemente plana, ha dificultado la organización de la red de drenaje, de manera que los cauces principales no siempre mantienen un trazado efectivo hasta el mar. Este factor, junto con la proliferación de humedales donde afloran los niveles freáticos, favorece la concurrencia de flujos superficiales y subterráneos en las zonas más deprimidas. Se produce así una deficiencia en el sistema de drenaje natural que, en los momentos de lluvias altas, puede conllevar auténticos problemas de inundación en todo el sector, con las consiguientes repercusiones socioeconómicas para una población que subsiste fundamentalmente de la explotación agropecuaria.

El fenómeno no es reciente. Ya en el s. XIX cuando la región comenzaba a poblarse, Manuel Moreno y Pedro Inchauspe en su libro *"Laboulaye. Un pueblo cordobés"* reseñan: "...y las inundaciones eran otra de las tragedias que alcanzaban a los primeros heroicos pobladores; los pobres animales,...debían buscar refugios en los albardones o alturas naturales para escapar a una muerte segura...". Su estudio, sin embargo, se ha visto muy ralentizado, tanto por la considerable extensión de la zona, como por la carencia de información fiable sobre la misma.

Las tecnologías de información geográfica (teledetección, SIG) e hidrológica han supuesto un importante cambio en la manera de afrontar el problema de las inundaciones en la provincia de Córdoba. Por una parte, a nivel de estudio, han proporcionado importantes bases de datos y potentes herramientas de análisis. Por otra parte, a nivel de gestión territorial, han supuesto un eficaz instrumento, tanto para la planificación como para la gestión del riesgo. En este sentido, el presente artículo recoge algunas de las experiencias llevadas a cabo en esta zona, para el estudio de las inundaciones, mediante la aplicación de tecnologías de información geográfica.

LAS LLANURAS MAL DRENADAS DEL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

El ámbito territorial afectado por inundaciones en el sudeste de la provincia de Córdoba se localiza principalmente en los departamentos Roque Sáenz Peña y centro-este del departamento General Roca. También alcanza el extremo sureste del departamento Río Cuarto y extremo sur del departamento Juárez Célman de la provincia de Córdoba (Figura 1).

El área se ubica en una zona de clima subhúmedo, con estación invernal seca, mesotermal. La precipitación media anual para la serie 1903 - 1998 es de 798 mm, de los cuales el 74% precipita durante el período de octubre a marzo. La temperatura media anual para la serie 1961 - 1970 es de 16.6 °C con una amplitud térmica promedio de 14.6 °C.

Geomorfológicamente, este sector es una gran llanura eólica con una superficie de 16.000 km² y constituye la unidad ambiental denominada Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba (Becerra y otros, 1999). Topográficamente configura un ambiente muy plano, con un gran número de lagunas permanentes (superficie aproximada: 1.200 km²) y de humedales (bañados) con vegetación hidrohalmórfica (superficie aproximada: 3.020 km²). Esta unidad es un área de recepción y tránsito de los escurrimientos provenientes de las vertientes orientales de las sierras de Comenchingones y de San Luis. Los cursos de agua que drenan a la región son los arroyos El Aji, El Gato y el Santa Catalina y el río Quinto (Figura 2).

Históricamente los arroyos Sta. Catalina y El Gato finalizaban su recorrido natural en el extremo norte de la laguna El Tigre Muerto y el Río Quinto en los bañados La Amarga. Con el paso del tiempo, estos ambientes fueron colmatándose hasta alcanzar la situación actual en que su capacidad de embalse y regulación es prácticamente nula. A partir del Tigre Muerto se realizaron distintas canalizaciones para drenar esta zona hacia el mar a través del Sistema Saladillo - Carcarañá - Paraná. Lo mismo ocurrió en el caso del Río Quinto donde finalizaba su recorrido en los bañados de La

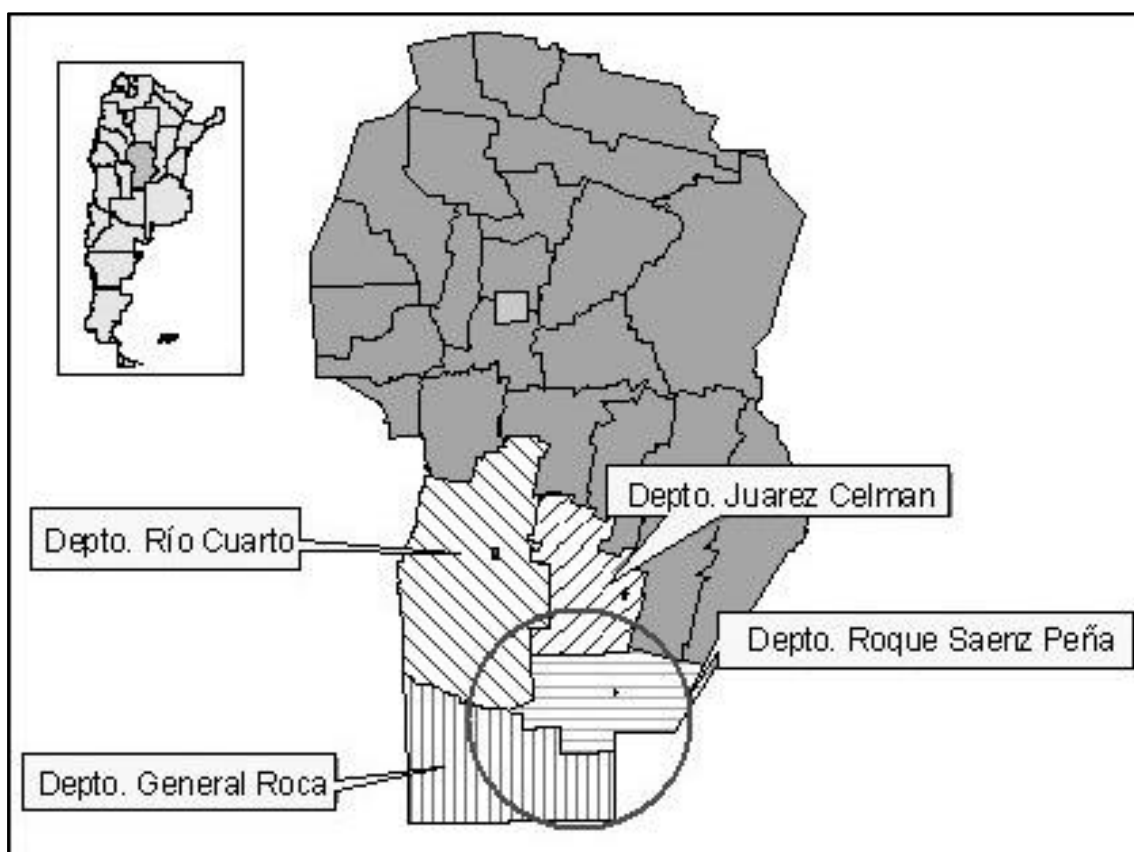


Figura 1. Localización del área afectada por inundaciones en el sudeste de Córdoba

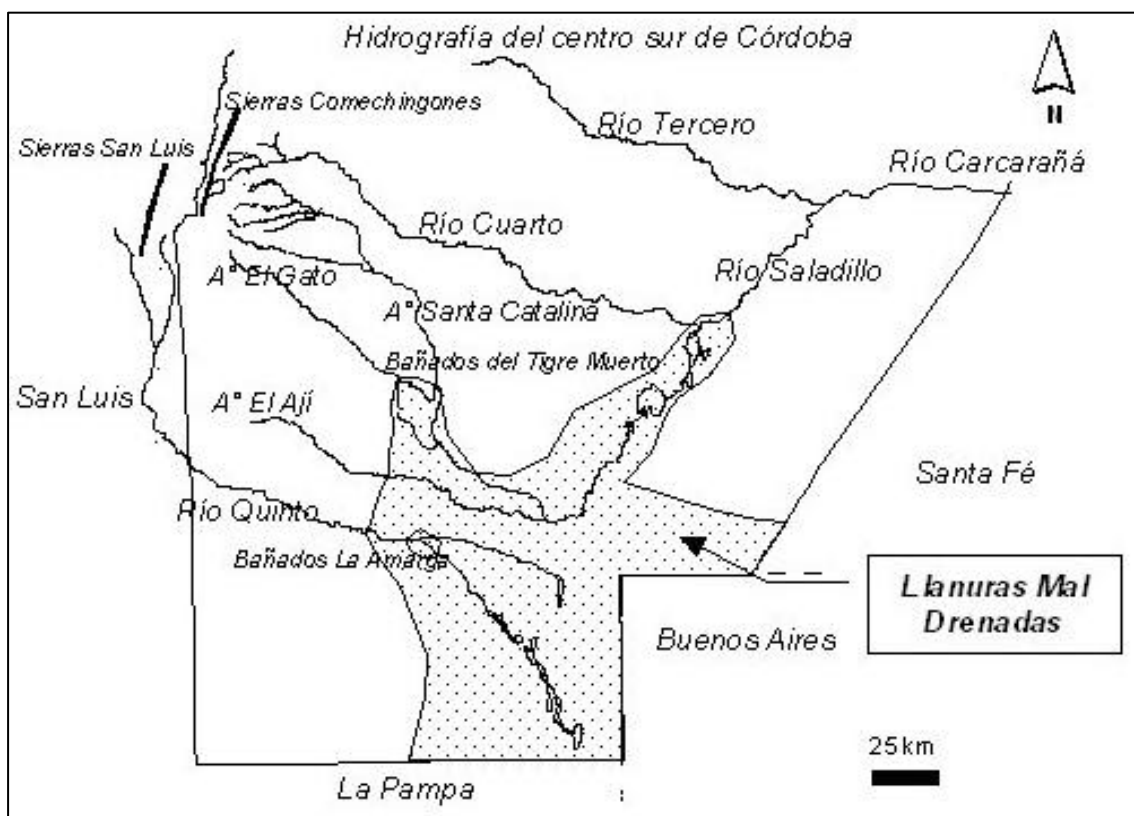


Figura 2. Hidrografía del centro sur de Córdoba

Amarga. Posteriormente una red de canales artificiales fue conectando un rosario de lagunas a partir de La Amarga dirigiendo la escorrentía hacia la provincia de La Pampa y Buenos Aires.

La principal actividad socioeconómica de esta región es la agrícola-ganadera. Su carácter agroexportador se comienza a consolidar hacia fines del siglo XIX cuando se instalan las primeras estancias, dedicadas a la cría de ganado ovino, vacuno y equino. La agricultura, hasta fines de 1930, se practicaba mediante la modalidad de contratos de arrendamientos entre los estancieros y los "chacareros". En la década siguiente, comienzan subdividirse las estancias y a conformarse colonias de productores agropecuarios, mayoritariamente de inmigrantes italianos y españoles. Hacia los años 50 y 60 se produce una fuerte mecanización de la agricultura que, por entonces, ocupaba unas 111.000 has. fundamentalmente de trigo, maíz, y sorgo. Esta superficie fue en aumento llegando a ocupar en la campaña 97/98 215.000 has. Ello redundó en la desaparición de los rodeos ovinos de la zona durante el período 1970/1980 y en una paulatina disminución del rodeo bovino. Actualmente se contabilizan en el sector más afectado por las inundaciones (8.600 km²) 1.834 empresas agropecuarias cuya producción principal son trigo, girasol, soja, maíz, carne bovina y leche.

NATURALEZA DEL FENÓMENO DE INUNDACIÓN

La recurrencia del fenómeno de inundación-anegamiento en las Llanuras Mal Drenadas del sudeste de la provincia de Córdoba (Becerra y otros, 1999) se debe a factores naturales y antrópicos. Entre los primeros destaca un relieve muy plano, con muy baja pendiente general, favoreciendo la acumulación de agua en charcas o lagunas, el anegamiento de grandes extensiones de suelos y un traslado superficial del agua muy lento (Fuschini Mejía, 1994). Otro de los factores naturales relevantes son los suelos hidromórficos, con baja permeabilidad debido a la presencia de horizontes sódicos y a la existencia de una capa freática salina próxima a la superficie del suelo (INTA - SMAGyRR, 1987).

Entre los factores inducidos por el hombre destacan: la impermeabilización progresiva por deterioro físico de los suelos (Cisneros, 1994), la construcción de una red vial que condiciona la acumulación y movimiento del agua en superficie y el establecimiento de canales de manera anárquica, sin un criterio integral sobre el funcionamiento hidrológico regional (Rang y otros, 1999, Milanesio y otros, 1999).

Las precipitaciones

El principal factor desencadenante de las inundaciones son las lluvias. Desde la década del 70 se observa, por un lado un incremento de la precipitación media anual (Paoli y otros, 2000) pasando de 760 mm anuales para la serie 1903 - 1970 a 907 mm anuales para la serie 1971-1999 (Rang y otros, 1999; Milanesio y otros, 1999) y por el otro, la recurrencia de lluvias que superan ampliamente la media anual o estacional como ocurrió recientemente en el período 1997-2001, generando un severo proceso de inundación-anegamiento.

Analizando la serie 1903-1998 del Servicio Meteorológico Nacional, la Estación Laboulaye arroja una media anual de 798 mm. Los meses más lluviosos son enero con una media de 101 mm, 94.9 mm en febrero, 115 mm en marzo y 98 y 105 en noviembre - diciembre, en los cuales se concentra el 75 % de las precipitaciones, típico de un régimen tipo monzónico.

El valor máximo anual de la serie se registró en 1998 y fue de 1391 mm, el mínimo se registró el año 1929 y fue de 356 mm, con una amplitud de 1035 mm, una desviación estándar de 186 mm y un coeficiente de variación de 23 %, mostrando una amplia irregularidad del régimen hídrico de la zona. Sin embargo, si se suavizan las variaciones anuales mediante la graficación de la media móvil aparece un comportamiento cíclico de las precipitaciones con alternancia de ciclos secos y húmedos de duración entre 25 y 40 años con la existencia de un ciclo seco pasado y otro húmedo actual. Por otra parte, al graficar una línea de tendencia se percibe un incremento sostenido de la precipitación media anual de 1,7 mm/año (Gráfico 1)

Los promedios anuales son variables en función del período considerado. Por

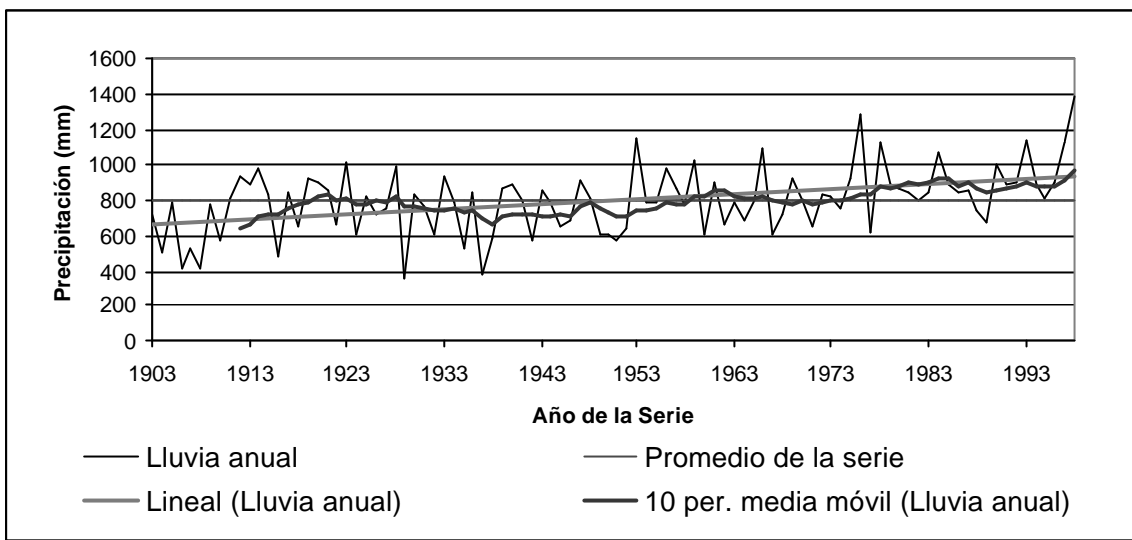


Gráfico 1. Análisis de la serie de precipitación 1903-1998 para la Estación Laboulaye
Fuente. Rang y otros, 1999

ejemplo, la media para la década 1928-1938 fue de 705 mm, mientras que para la década 1988-1998 fue de 952 mm, con un incremento sostenido de la precipitación media anual a partir de la década de 1970 (Gráfico 2). Esta observación ha sido reportada por Paoli y otros, 2000 y DHI, 2000. Una característica de las precipitaciones de la región es que pueden presentarse valores de precipitación mensual que dupliquen y tripliquen el valor medio esperado. También es posible lluvias mensuales con máximos de 300 a 500 mm en pocos días, con una gran concentración espacial.

El escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial posee dos componentes: los aportes externos a través de los cursos de agua provenientes de otros

ambientes (Figura 1) y los aportes locales de los propios excedentes del área.

Los sistemas fluviales denotan una importante acción erosiva en casi todos los cauces. Esta particularidad, mas allá de los problemas locales que generan (derrumbe de márgenes, socavaciones en obras de infraestructura vial, etc.) condiciona fuertemente la dinámica fluvial de la porción media e inferior de los cursos, provocando un gran aporte, transporte y deposición de sedimentos en la región. Poco a poco se van colmatando las lagunas que, a menudo, actúan como embalses naturales. Pierden, por tanto, su función laminadora de hidrogramas de avenidas y, en consecuencia, su capacidad como reguladoras de los excedentes hídricos. Este proceso de colmatación ha provocado la desaparición de dos lagunas que regulaban los picos de crecidas de ingreso a la región: El Tigre Muerto y La Amarga, hoy transformadas en humedales o bañados.

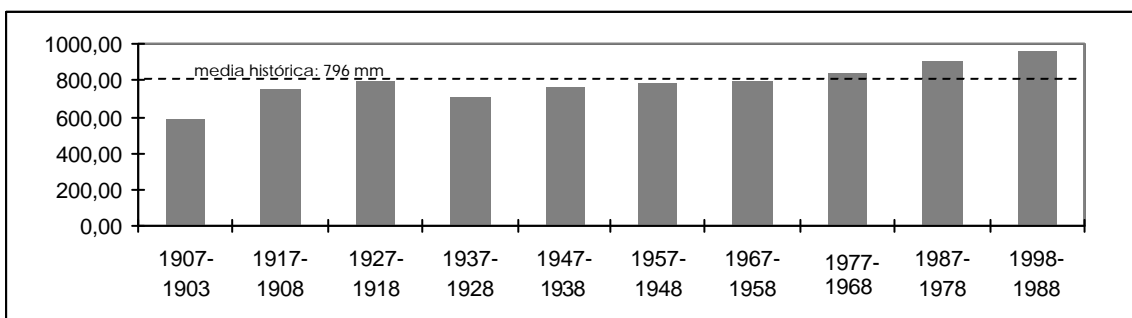


Gráfico 2. Promedio de precipitación por décadas serie 1903 - 1998
Fuente. Rang y otros, 1999.

En cuanto a los escurrimientos locales, si bien se trata, en general, de suelos de texturas franca arenosa, la presencia de horizontes sódicos y un inadecuado manejo de los mismos da lugar a fuertes compactaciones superficiales y subsuperficiales, provocando un elevado escurrimiento superficial. Mediciones con simulador de lluvias han determinado un coeficiente de escurrimiento de 0,5 para intensidades de lluvias de 80 mm/h, partiendo de una condición de humedad del suelo normal y con la capa freática oscilando en torno al metro de profundidad. Esta información indica un componente local de excedente hídrico relevante.

Para períodos de lluvias normales, el sistema fluvial es capaz de drenar los excedentes hacia sus salidas naturales, pero, para eventos extraordinarios, se producen desbordamientos de canales en diferentes puntos, que, sumado a los escurrimientos locales, inunda importantes superficies. Este funcionamiento dual del ambiente, debido a condicionamientos topográficos y sedimentaciones en cauces y lagunas, pone de manifiesto las dificultades que tiene el sistema para drenar los aportes hídricos extraordinarios.

El balance hídrico

El balance hídrico interanual para la estación meteorológica de Laboulaye (SMN) muestra un marcado déficit en los meses de Diciembre, Enero y Febrero y un período de recarga bien definido durante los meses de marzo y abril (INTA - SMAGyRR, 1987). Paoli y otros (2000), con el fin de evaluar los excesos hídricos, calcularon un balance hídrico vertical simplificado (basado en Thornthwaite y Mather) y continuo, de paso mensual, para la mencionada estación y la serie 1961-1998 (Gráfico 3). El término de excedente hídrico debe interpretarse como disponibilidad de agua por unidad de superficie, cuya mayor o menor permanencia sobre el terreno o su transformación en escorrentía superficial dependerá de las condiciones naturales (pendiente, tipo de vegetación, red de drenaje) o artificiales (interferencia de obras viales y férreas, canales).

El balance hídrico continuo en el período 1961-98 indica la evolución cronológica de excedentes y déficits. A partir de los años 70 se incrementa la frecuencia de años con excedentes y desde 1985 se inicia un período en el cual en todos los años se produjeron excesos hídricos. Más importante que la magnitud de cada exceso anual, es la

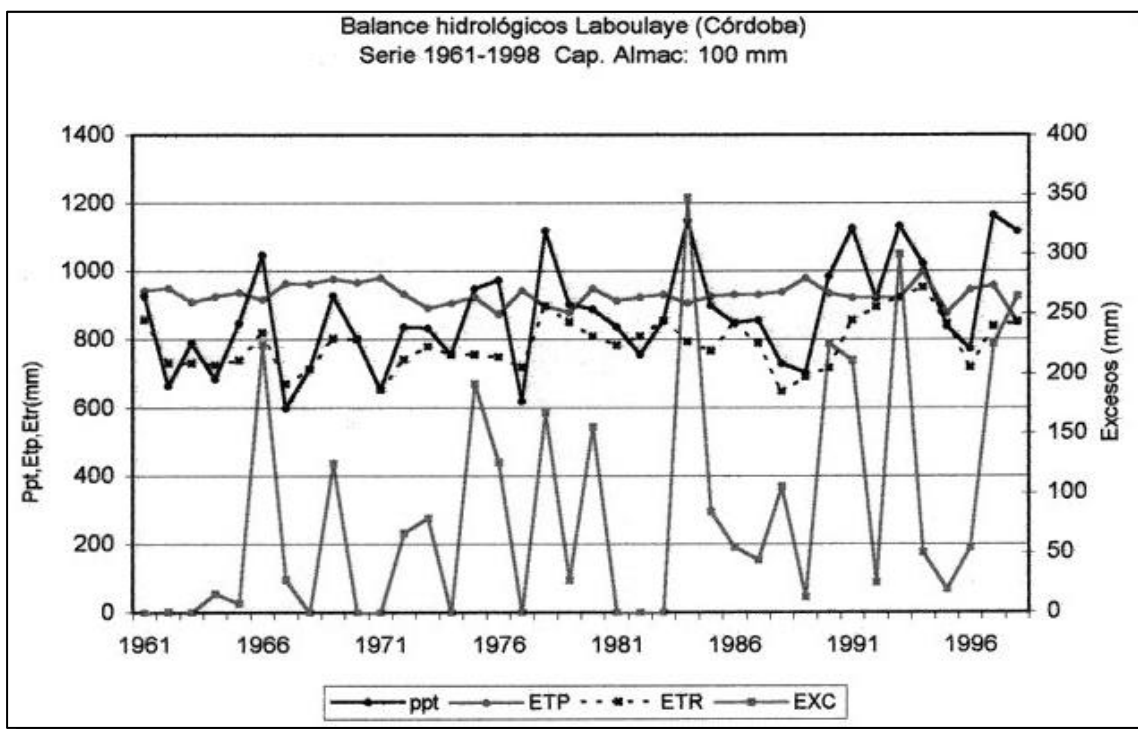


Gráfico 3. Balance hídrico seriado para Laboulaye. Fuente: Paoli y otros, 2000

cantidad de años consecutivos en que se presentaron dichos excedentes. La media móvil para los excedentes hídricos resultantes revelan una tendencia creciente de los excedentes anuales en el orden de los 200 mm.

Esta tendencia es consecuencia no sólo de un mayor ingreso de agua precipitada, sino del estado de saturación que presenta el sistema hídrico al inicio de cada uno de los periodos críticos. El resultado es un efecto acumulativo en los volúmenes almacenados, hecho que condiciona un incremento en la frecuencia de situaciones de inundación y mayor duración de los estados de anegamientos generalizados.

Por otra parte, la distribución estacional de las precipitaciones presenta una marcada concentración en los meses de verano – otoño. Dado que la principal salida de agua es a través de la evapotranspiración, la ocurrencia de precipitaciones de magnitud al inicio de otoño, donde la evaporación disminuye notoriamente, da lugar a una mayor permanencia de las disponibilidades hídricas hasta el inicio del próximo verano. El tiempo de recuperación de la capacidad de almacenamiento de estos sistemas hídricos es mayor que la sucesión de los periodos lluviosos, por lo que lluvias de menor magnitud pueden conducir al estado de inundación.

Escurremientos subterráneos y niveles piezométricos

El acuífero para el área se caracteriza por dos sistemas hidrogeológicos: el *basal*, que es de carácter regional y portador de aguas cloruradas sódicas de mediana a alta salinidad con una circulación de dirección general NO-SE, y el *cuspidal* formado por sedimentos de arenas finas de espesor variable (hasta 10 metros) con contenidos de agua de menor salinidad (Fili y otros, 2000). Esto se debe a que la composición de la columna estratigráfica presenta sedimentos limosos, arcillosos y eólicos con intercalaciones calcáreas en su base y sedimentos eólicos arenosos del Pleistoceno superior, en el techo.

La variación de profundidad de la capa freática está en relación con el resultado del

balance hídrico regional y local y los periodos húmedos plurianuales y estacionales. A nivel regional y a escala plurianual, se observa que, a partir de la segunda mitad del siglo pasado, y más acentuadamente a partir de la década del 70, se han producido mayor frecuencia de eventos de recarga al acuífero, coincidente con el incremento en la precipitación media anual para los últimos 30 años (Fili y otros, 2000, Cisneros y otros, 2001 a). Esto se traduce en un ascenso del nivel freático a escala regional (Paoli y otros, 2000).

A nivel local, la variación de la profundidad del freático se relaciona con el balance hídrico estacional, produciéndose un descenso del nivel durante las estaciones secas y un ascenso durante el semestre húmedo ($P > ETP$). El sistema freático funcionando en estas condiciones cumple un mecanismo de movilización, transporte y acumulación de agua y solutos produciendo bañados y lagunas en áreas de descarga y suelos con génesis hidrohalomórfica (salinos - alcalinos) (Cisneros y otros, 1997). En el Gráfico 4 se indica la variación del nivel freático para un periodo anual. La oscilación del freático fue modelada a partir de una ecuación de regresión entre ascenso-descenso del nivel freático y balance hídrico, obteniendo un buen ajuste entre los valores observados y los estimados ($R^2: 0,92$) (Cisneros, 1994).

En síntesis, existe una marcada tendencia del acuífero a tener una respuesta oscilatoria regional relacionada con la variación del régimen pluviométrico en la misma, con poca influencia, a nivel regional, del aporte de los cursos externos a las Llanuras.

Factores antrópicos

Además de los factores naturales desencadenantes del proceso de inundación, deben destacarse aquellas actuaciones humanas sobre el territorio, que traen como consecuencia la inestabilización del sistema natural y el incremento del riesgo de inundación. Entre las más importantes, cabe señalar:

- La presencia de una red de canales de desagüe de escurrimiento superficial y canales de drenaje de la capa freática que alteran la circulación natural.

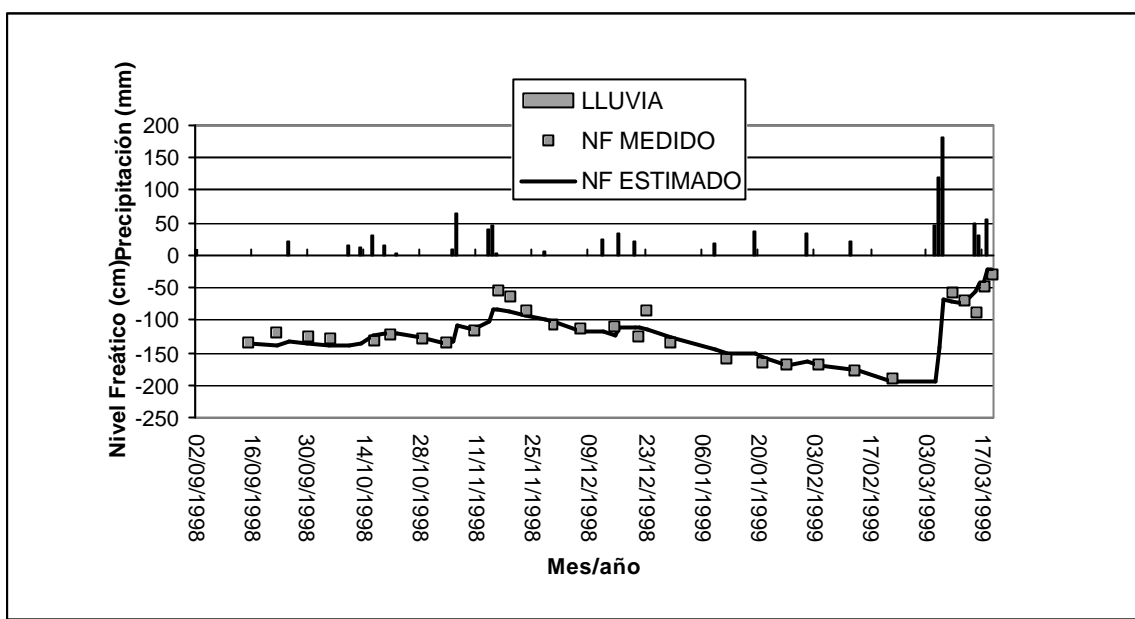


Gráfico 4. Variación del NF estimada y ocurrida para el ciclo de 1998-1999.
Fuente. Rang y otros, 1999.

- Una red de caminos que actúa, en general, como modificadora del curso natural de los escurrimientos superficiales.
- El incremento del uso agrícola sobre suelos de aptitud ganadera que produce la degradación física de los suelos y el consiguiente incremento de los escurrimientos superficiales locales.
- Acciones aisladas para control de inundación, como la presencia de bordos, construcción de alcantarillas o rotura de terraplenes que, si bien por el momento constituyen soluciones puntuales, por lo general trasladan los problemas aguas abajo, debido a que acaba produciéndose el fenómeno de conexión de cuencas.

Pese al poco desarrollo de este subapartado, habida cuenta que no es el objeto de este estudio, es necesario remarcar que el conjunto de factores de origen antrópico es el principal responsable del problema de las inundaciones en esta zona, porque ha conducido a la desestabilización progresiva de los sistemas de drenaje natural (Cisneros y otros, 2001 a y b)

LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS TERRITORIAL DE ÁREAS AFECTADAS POR INUNDACIONES. APLICACIONES LOCALES.

Si se concibe como tecnologías de la información geográfica a todos aquellos medios para obtener, procesar, almacenar, analizar y representar datos georreferenciados, no cabe duda que la Teledetección y los SIG están incluidas en esta categoría de herramientas. No obstante, el impresionante avance tecnológico en materia de sistemas de recolección, procesamiento y representación de datos georreferenciados junto con el creciente mercado de información geográfica, está impulsando la revisión del concepto de tecnologías de la información geográfica, hasta el punto que algunos autores, insinúan el nacimiento de una nueva rama científica (Gould y Herring, 2001) con teorías y metodologías propias.

Independientemente de esta discusión que está fuera del alcance de este artículo, lo

que queda claro es que la Teledetección permite la evaluación de sucesos con una precisión hasta hace pocas décadas impensable. Los satélites artificiales, los sensores remotos y el tratamiento de imágenes digitales por ordenador han revolucionado el estudio de fenómenos a escala planetaria y constituyen herramientas ya imprescindibles para la gestión de recursos naturales y el control y la planificación de la actividad humana sobre la superficie terrestre. La aplicación de la teledetección para el estudio de suelos afectados por inundación - anegamiento ha sido ampliamente utilizada por diferentes autores (Jensen y otros, 1986; Cebecauer, 1997; Koeln, 1986; Lunetta y Balogh, 1999; Dawivedi y otros, 1998; Gorgas y otros, 2000), gracias al contraste del agua con el resto de las cubiertas terrestres en el espectro electromagnético.

Por otro lado los SIG, también constituyen una herramienta indiscutible a la hora de integrar, analizar y representar información georreferenciada. La combinación del procesamiento digital de imágenes provenientes de sensores remotos, con las posibilidades de análisis que ofrecen los SIG, han sido satisfactoriamente utilizadas para estudios vinculados al análisis territorial de áreas afectadas por inundaciones (Sader y otros, 1995; Davies y otros, 1998; Sassone y otros, 2000; Degioanni y otros, 2000; Camarasa y otros, 2001). A continuación se presentan distintas aplicaciones locales en el ámbito de la Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba de estas tecnologías.

Ejemplo de aplicación en la delimitación de áreas homogéneas de planificación y gestión: *Distritos de Ordenamiento Ambiental*

La gestión del riesgo de inundación y la planificación del territorio sujeto a este problema requiere de una zonificación previa del mismo, en el que se establezcan áreas homogéneas desde, al menos, dos criterios: las características naturales o artificiales del territorio y la identificación de

problemas y soluciones. Estas unidades territoriales homogéneas se denominan Distritos de Ordenamiento Ambiental y sus unidades vinculadas se llaman Consorcios Regionales, siendo la cuenca y subcuenca hidrográfica el ámbito natural de zonificación.

El concepto de Distritos y Consorcios tiene su origen en la Ley Nacional de Fomento a la Conservación de Suelos Nro. 22428 que establece como unidades territoriales mínimas para la ejecución de trabajos de conservación, el ámbito geográfico cuya manifestación de problemas es semejantes y por tanto, requieren programas de trabajos de ordenamiento y gestión coherentes entre sí (Cantero y otros, 1984).

Para la delimitación de los Distritos de Ordenamiento Ambiental en las Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba, se utilizó como criterio básico la estructura de cuencas y de subcuencas. Las unidades se delimitaron utilizando imágenes de satélite y trabajos de campo a diferentes niveles de detalle. Mediante el contraste de imágenes *Landsat TM5* entre épocas normales de precipitación y eventos extraordinarios, como los ocurridos en el ciclo 97/98 y 98/99, se pudo observar con mayor facilidad como se organizan los escurrimientos superficiales y digitalizar los límites de las unidades hidrológicas, las vías de circulación y el área de las lagunas. Esta información obtenida de las imágenes se incorporó a un SIG integrándola con otros datos digitales tales como red vial, curvas de nivel y suelos. Ello permitió redefinir límites, vías de circulación y establecer nuevas unidades hidrológicas de mayor detalle. Para este procedimiento se utilizaron los programas *Erdas Imagine*, *ArcInfo* y *ArcView*.

Como resultado de este procesamiento se han delimitado diez unidades territoriales, a escala 1:100.000, abarcando una superficie de 922.000 ha. Seis de estas unidades tienen una red de drenaje bien definida, vinculadas a los arroyos El Ají, Santa Catalina y El Gato con salida al río Saladillo para una de ellas y vinculadas al río Quinto las otras cinco. Las cuatro unidades restantes constituyen cuencas arreicas cuyos escurrimientos no alcanzan sistemas de drenajes definidos. No obstante, en situaciones extraordinarias los escurrimientos superficiales se interconectan y avanzan hacia la provincias de La Pampa y Buenos Aires. A continuación se describen las principales características de los seis Distritos

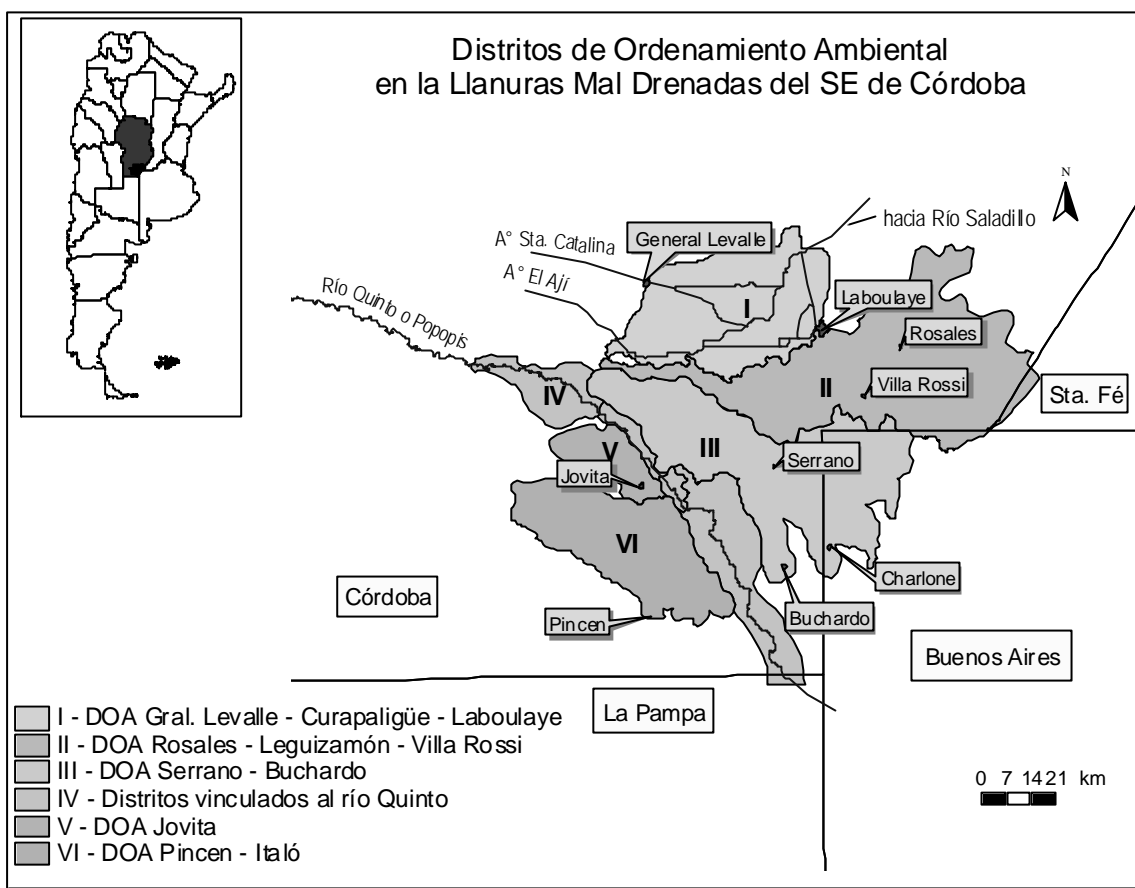


Figura 3. Localización de los Distritos de Ordenamiento Ambiental.

Fuente: elaboración propia

de Ordenamiento Ambiental (Figura 3) (Cisneros y otros, 2001 a y b):

I - Distrito General Levalle - Curapaligüe - Laboulaye: se localiza entre las localidades de General Levalle y Laboulaye ocupando una superficie de 166.500 has. La característica hidrológica principal del Distrito es que está vinculado a las cuencas serranas del sistema Comechingones a través de los arroyos Santa Catalina, el Gato y El Aji. Estos arroyos atraviesan el Distrito a través de 325 km de canales artificiales y conforman la principal red de drenaje con salida al sistema de los ríos Cuarto y Saladillo. Se identificaron 34 lagunas (14.800 has) que en periodos de anegamiento - inundación generalizados se interconectan entre sí. A estas características se suman los desbordes de los canales que escurren muy lentamente, o en mantos hacia las lagunas, por lo cual su capacidad reguladora se ve disminuida. Se delimitaron nueve subcuencas que constituyen la base territorial para la conformación de los Consorcios y tres unidades de paisaje: planicies agrícolas bien drenadas (11% de la superficie), planicies

agrícolas con riesgo de inundación (32%) y planicies salinas (ambientes mal drenados y conexión del suelo con capa freática salina) (48%). En este Distrito se localizan 332 empresas agropecuarias para las que, durante la inundación del ciclo 98/99, se estimó una pérdida de producción agropecuaria del orden de 9.525.000 pesos.

II - Distrito Rosales - Leguizamón - Villa Rossi: se caracteriza por ser una planicie de relieve subnormal de 266.300 ha., sin una red de drenaje definida, por tanto es un ambiente de características arreicas. Se han identificado 58 lagunas permanentes (27.150 has) y 69 depresiones con anegamientos temporarios (12.440 has), conformando un conjunto de 29 subcuencas arreicas que, en periodos de anegamiento - inundación generalizados, se interconectan entre sí, aumentando los pulsos de expansión de las lagunas aguas abajo y afectando las tierras agrícolas. En el evento 98/99 llegó a drenar hacia la laguna La Picasa, en la provincia de Santa Fe. Se identificaron cuatro unidades de paisaje: planicies agrícolas bien drenadas (19% de la superficie), planicies agrícolas con

riesgo de inundación (35%), planicies y bajos hidromórficos (32%) y planicies salinas (3%). En este Distrito se localizan 680 empresas agropecuarias para las que durante la inundación del ciclo 98/99 se estimó una pérdida, sólo en materia de productos agrícolas y ganaderos, en el orden de 20.681.000 pesos.

III - Distrito Serrano - Buchardo: esta unidad posee una superficie de 231.400 has. y constituye un sistema hidrológico arreico. Durante los eventos extraordinarios, los escurrimientos superficiales alcanzan la provincia de Buenos Aires. Posee 83 lagunas permanentes (15.000 has) y 28 lagunas temporarias (2.700 has) y se delimitaron 23 subunidades hidrológicas. En este Distrito se localizan 425 empresas agropecuarias que, durante la inundación del ciclo 98/99 sufrieron pérdidas en la producción agropecuaria en el orden de 6.243.000 pesos.

IV - Distritos vinculados con el río Quinto: este río, cuyo nacimiento se localiza en la provincia de San Luis, ingresa a los ambientes mal drenados de Córdoba por el sector NO y antiguamente, derramaba en el sector de los bañados de La Amarga. La creciente desestabilización hidrológica que ha tenido lugar durante los últimos 25 años ha modificado su recorrido, interconectándose natural o artificialmente, con una serie de lagunas interconectadas del sur de la provincia de Córdoba y drenando hacia las provincias de La Pampa y Buenos Aires. El río ha estado y está siendo sometido a un intenso proceso de erosión del cauce, lo que provoca la sedimentación de las lagunas, como ya ocurrió con los bañados de La Amarga y con las lagunas interconectadas. Este proceso agrava la problemática de las inundaciones ya que, ante crecidas extraordinarias, como las ocurridas en enero de 2000 y abril de 2001, con caudales que superaron los 500 y 730 m³/s (Cisneros y otros, 2001 b) respectivamente, los desbordamientos son mayores porque se pierde la capacidad reguladora de los embalses.

Sobre la base de la dinámica actual del río Quinto se han delimitado 5 Distritos de Ordenamiento Ambiental, tres de ellos vinculados al cauce del río, cuyo principal problema es la desestabilización de sus márgenes (meandros) y fondo (saltos). Estos 3 distritos abarcan 46.700 ha. de superficie y cubren 175 km de cauce. Los dos Distritos

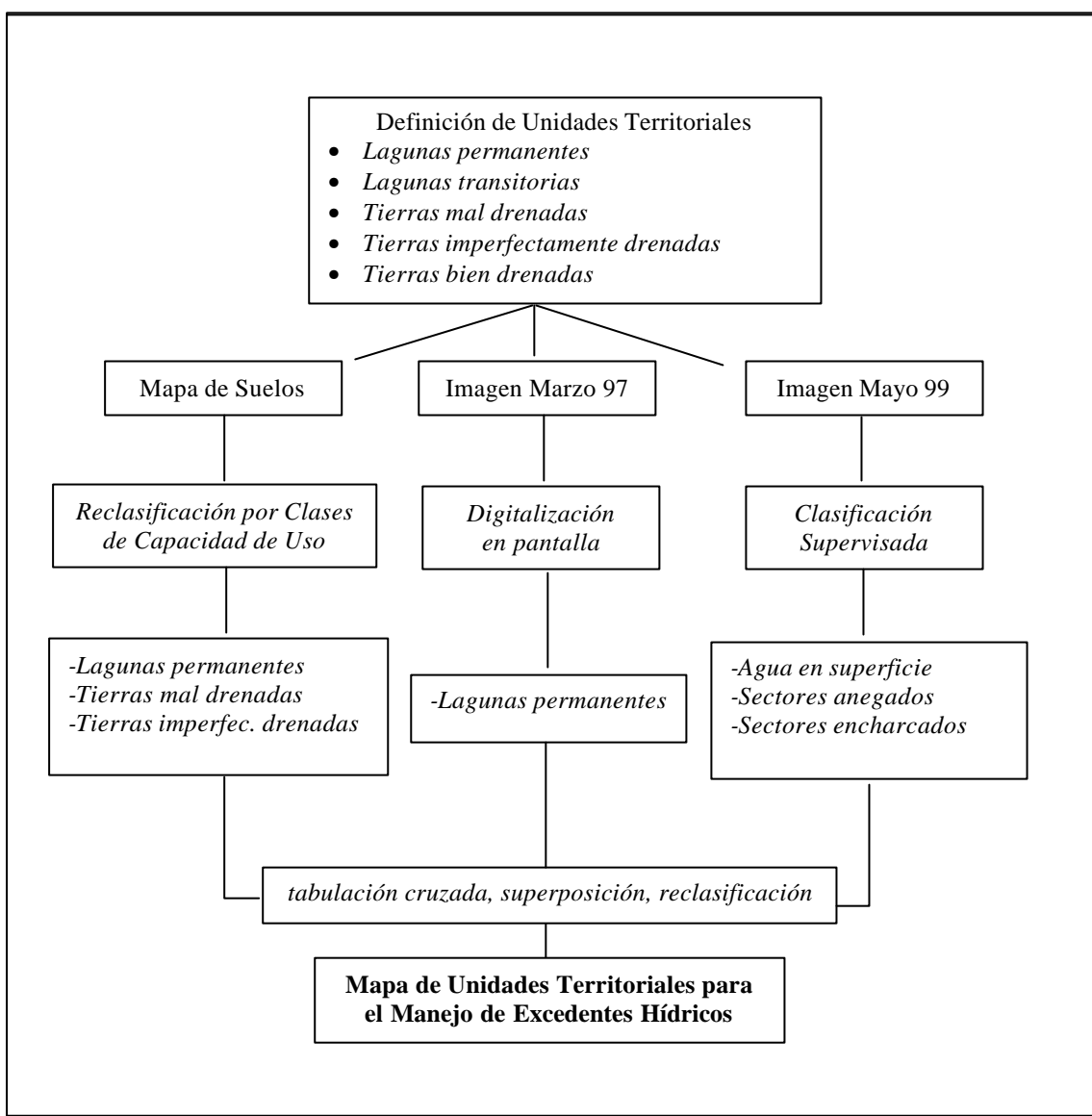
restantes se vinculan al sistema de lagunas interconectadas, cuya principal problemática es la sedimentación con el consecuente desbordamiento ante eventos extraordinarios. Estos dos distritos abarcan una superficie de 75.800 ha. y contienen un total de 11 lagunas permanentes, interconectadas al sistema del río Quinto, con una superficie de 5.260 ha, y 29 lagunas temporarias, con una superficie de 4.520 ha, que no tienen conexión definida con el sistema del río Quinto.

V - Distrito Jovita: posee una extensión de 37.100 ha. Se trata de una antigua zona de derrames del río Quinto. En caso de eventos extraordinarios, los escurrimientos superficiales alcanzan la localidad de Jovita y de allí se conectan al sistema de Quinto. Se delimitaron dos subcuencas: una, oeste, con 24.780 ha. y otra, este, con 12.350 ha.

VI - Distrito Pincen - Italó: esta unidad ocupa 141.000 ha. con 6 subcuencas. Constituye un sistema arreico, con 63 lagunas permanentes (8.100 has.) y 25 lagunas temporarias (2.600 ha.) que, en eventos extraordinarios, como los ocurridos en los años 1999 y 2000, se interconectan, derivando los escurrimientos hacia la población de Pincen. Esta población está expuesta a aislamiento terrestre, por cortes en la red vial de acceso a la misma, y a problemas de índole sanitario y de edificación.

En este Distrito se han identificado cuatro unidades de tierras: planicies agrícolas bien drenadas (25,5% de la superficie total), planicies agrícolas con riesgo de inundación (15%), planicies y bajos hidrohalomórficos (36%) y bajos hidromorfos (23.5%).

Para los Distritos vinculados al río Quinto, el Distrito Pincen - Italó y el Distrito Jovita, que totalizan una superficie de 220.000 ha, registran un total de 398 empresas agropecuarias. Las pérdidas en producción agropecuaria que sufrieron durante la inundación del ciclo 98/99 alcanzan los 6.846.000 de pesos.



Cuadro 1. Sinopsis del tratamiento de la información.

Ejemplo de aplicación en el análisis territorial para la gestión de excedentes hídricos

Debido a que el escurrimiento superficial en un ambiente como las Llanuras Mal drenadas del sudeste de la provincia de Córdoba es muy lento, la principal estrategia de manejo de los excedentes hídricos se basa en los componentes verticales del balance hídrico, principalmente infiltración, evaporación y evapotranspiración (Fuschini Mejía, 1994; Cisneros, 1999; Fili y otros, 2000; Paoli y otros, 2000). Por ello es necesario

delimitar unidades territoriales que respondan de manera similar a diferentes estrategias y técnicas de gestión.

El objetivo de este trabajo es delimitar unidades territoriales para el manejo de los excedentes hídricos, mediante la integración y análisis en un SIG de la información obtenida con imágenes Landsat y la provista por el mapa de suelos de un sector de las Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba.

Para este trabajo se utilizaron las siguientes fuentes de información: Carta de Suelos de la República Argentina - Hoja Laboulaye 3563-3 (INTA-SMAGyRR, 1987); Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos

(SMAGyRR, 1999), Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón (Rang y otros, 1999) y dos imágenes *Landsat TM 5* (228 - 84) provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). El procesamiento digital de la información se realizó con ArcInfo ver. 3.5.1 (ESRI, 1995), ERDAS Imagine ver. 8.2 (ERDAS, 1995) e Idrisi for Windows ver. 2.0 (Eastman, 1997). En el Cuadro 1 se presenta una sinopsis del tratamiento de la información para obtener el mapa final. El trabajo siguió las siguientes fases:

a) Definición de las unidades territoriales para el manejo de excedentes hídricos: a partir del conocimiento del área de estudio, comprendida entre los paralelos 34°00' y 34°20' latitud sur y los meridianos 63°00' y 63°30' longitud oeste, se procedió a definir los tipos de unidades territoriales sobre la base de criterios agrohidrológicos, para el manejo de la infiltración, evaporación y evapotranspiración. Se definieron cinco unidades:

- *Lagunas permanentes*: comprende aquellos sectores que por su relieve cóncavo son destinados a lugares de acumulación o reservorios permanente del agua o humedales. Estas lagunas deben ser circunscriptas mediante una sobreelevación de sus perímetros, para aumentar su capacidad de embalse, previniendo una descarga controlada.
- *Lagunas transitorias*: son áreas que por su mal drenaje natural o posición deprimida del relieve son inundadas sólo en eventos extraordinarios y que pueden ser

destinadas a la función de "espejos evaporantes" y, por tanto, acelerar la pérdida de agua por evaporación directa. Estas unidades también pueden manejarse como vías de circulación del agua excedente entre las *lagunas permanentes*.

- *Tierras mal drenadas*: son aquellas unidades cuyos suelos poseen un drenaje natural prácticamente impedido. Estos son los sectores apropiados para destinar a *lagunas permanentes*, *transitorias* o vías eventuales de circulación de flujos hídricos.
- *Tierras imperfectamente drenadas*: son aquellas unidades con suelos que poseen un drenaje natural moderado a imperfecto, sufren saturación del perfil y presentan en superficie encharcamiento temporario en eventos extraordinarios. Estos sectores deben ser manejados para captar la mayor cantidad de agua posible dentro del perfil y destinados a un uso con vegetación que tenga algún grado de resistencia al anegamiento y alta tasa de evapotranspiración.
- *Tierras bien drenadas*: son los suelos que, por su permeabilidad, o posición en el relieve, son los menos afectados por anegamiento e inundación. El manejo de estas unidades debe priorizar la mayor retención de agua de lluvia, evitando al máximo posible el escurrimiento superficial hacia las otras unidades, como también la recepción de agua proveniente del desbordamiento de *lagunas permanentes* o *transitorias*, ya que no poseen limitaciones importantes para los cultivos de la zona.

Unidad	Clase USDA	Superficie (ha)	%	Características
Lagunas Perma-nentes	VIII	1.232	0,7	relieve cóncavo, drenaje impedido, suelos con fuerte salinidad, alcalinidad, presencia de fragipanes.
Tierras mal drena-das	VI VII	38.044	22,3	relieve subnormal-cóncavo, suelos sódicos, salinos, freática a menos de 1 metro
Tierras imperfecta-mente drenadas	IVws IIIsc	99.491	58,4	relieve subnormal, suelos con moderada salinidad y sodicidad, freática a más de 1 metro
Tierras bien drena-das	IIc - IIIC IVes-IIIsc	30.542	18,1	relieve normal, suelos no sódicos ni salinos, freática sin afectación del solum.
Ejidos		900	0,5	
		170.209	100	

Tabla 1. Unidades para el Manejo Excedentes Hídricos según tipo de Suelos

b) Delimitación de Unidades a partir del Mapa de Suelos: se digitalizaron en ArcInfo las unidades cartográficas de la Hoja Laboulaye asignando como atributos de los polígonos, además del perímetro y área, la Clase por Capacidad de Uso del USDA (Klingebiel y Montgomery, 1961). Con esta información se estableció la relación entre clase por capacidad de uso y la unidad para el manejo de excedentes hídricos, cuyo resultado se expone en la Tabla 1. El mapa final se obtuvo por una reclasificación de las unidades cartográficas y se transfirió al SIG Idrisi para su integración y análisis con los datos obtenidos desde las imágenes Landsat.

c) Delimitación de Unidades a partir del tratamiento digital de imágenes Landsat TM 5: para el tratamiento digital con ERDAS Imagine se seleccionaron dos imágenes: una correspondiente a un período de lluvias normales para la zona y la otra coincidente con uno de los períodos de máximas lluvias registradas en el área. La primera corresponde al 28/03/97 y la segunda al 19/05/99. Se cortó, para cada una, la ventana correspondiente al área de estudio y se georreferenciaron al sistema Gauss Krüger (faja 4) con un error medio cuadrático de la transformación menor a un pixel para ambas imágenes.

Mediante el análisis visual de la composición falso color 4,5,3 de la imagen de marzo de 1997 se digitalizaron en pantalla los espejos de agua claramente discernibles, asignando a estas unidades la categoría de *Lagunas permanentes*. Con esta información se generó un mapa binario que se transfirió a Idrisi.

La imagen de mayo de 1999 se sometió a un exhaustivo análisis visual de la composición falso color 4,5,3 para definir los campos de entrenamiento para la clasificación supervisada. Con la ayuda del mapa digital de suelos (superpuesto a la imagen), las características espectrales de la imagen y el

conocimiento del terreno, se establecieron 4 categorías espectrales y las correspondientes clases de información:

- *Agua*: corresponde a sectores con un manto de agua continuo en superficie, de color negro - azul oscuro, fácilmente discernibles. Esta categoría se asignó la clase: *Lagunas*.
- *Sectores Anegados*: presentan una textura media, de color azul oscuro y en torno a los espejos de agua. Esta categoría se asignó la clase *Tierras mal drenadas*.
- *Sectores Encharcados*: presentan una textura rugosa que se observa en la superficie. A su vez, presenta diferentes colores según el tipo de cubierta: vegetación activa (color rojo - naranja), vegetación poco activa o muy húmeda (color verde oscuro) y suelo desnudo o con muy poca vegetación (color gris - azul metálico). Esta categoría se asignó la clase: *Tierras imperfectamente drenadas*.
- *Sectores Normales*: esta categoría corresponde a áreas de textura lisa y colores según el tipo de cobertura terrestre (rojo - naranja - verde oscuro - cyan) donde no es visible el efecto del agua. Esta categoría se asignó a la clase: *Tierras bien drenadas*.

Se definieron diferentes tamaños y números de campos de entrenamiento, por categoría, y se realizó el análisis de las estadísticas de entrenamiento mediante el método de la Divergencia Transformada, para seleccionar la mejor alternativa de separabilidad. Los resultados se exponen en la Tabla 2.

	Agua	Anegado	Encharcado
Anegado	1999	-	-
Encharcado	2000	1870	-
Normal	2000	1999	1970

Tabla 2. Separabilidad estadística de los campos de entrenamiento.

Categ. Espectral	Clase Informacional	Superficie	%
Agua en superficie	Lagunas transitorias y permanentes	28.887	17
Sectores anegados	Tierras mal drenadas	49.075	29
Sectores encharcados	Tierras imperfectamente drenadas	24.442	14,5
Sectores normales	Tierras bien drenadas	66.905	39,5

Tabla 3. Superficie de las clases informacionales delimitadas en la clasificación supervisada.

Unidades Territoriales para el Manejo de Excedentes Hídricos

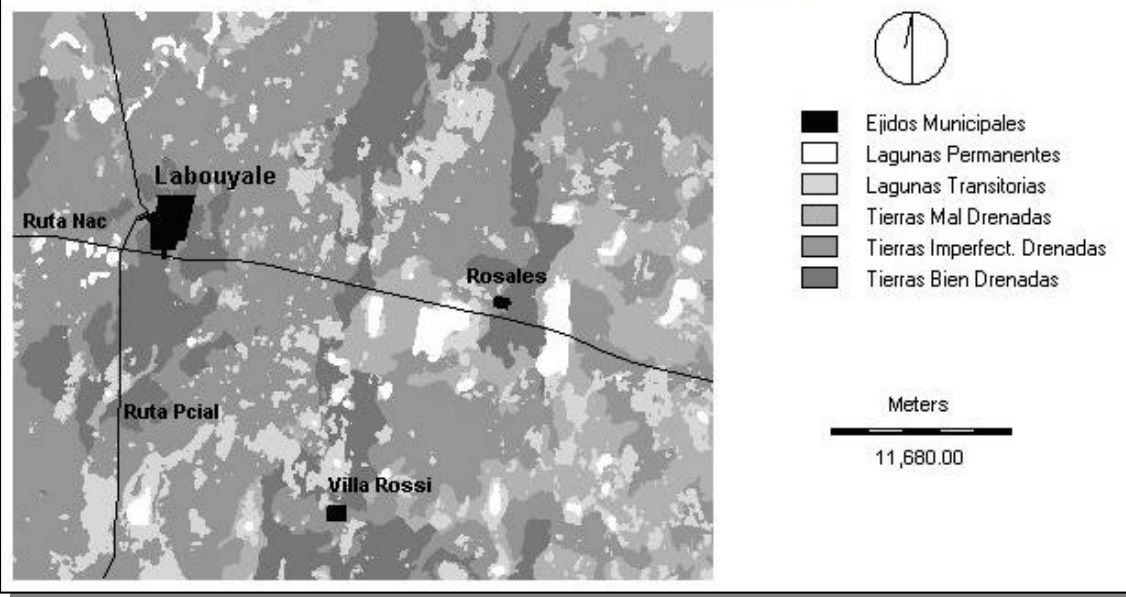


Figura 4. Mapa de unidades territoriales para el manejo de excedentes hídricos

Fuente: elaboración propia

Se observa una muy buena discriminación del agua con el resto de categorías. La mayor confusión la presentan los sectores definidos como encharcados y anegados, seguidos por las categorías normal y encharcado. No obstante estas observaciones fue la mejor separabilidad que se logró conseguir tras probar diferentes tamaños y número de campos de entrenamiento.

Para la fase de asignación se adoptó el clasificador de Máxima Verosimilitud, por su robustez estadística (Chuvieco, 1996). Se generó un mapa temático, con una superficie por clase de información que se expone en la Tabla 3 (se excluyen los Ejidos Municipales).

A los efectos de tener una estimación aproximada de la veracidad del mapa obtenido, se comparó el porcentaje de superficie afectada según la Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos (SMAGyRR, Junio de 1999) con el resultado obtenido en la clasificación supervisada. La declaración de Emergencia incluye un porcentaje promedio por establecimiento afectado principalmente por agua en superficie y suelos anegados. En consecuencia se tomó como superficie afectada en la clasificación las categorías *agua*, *sectores anegados* y *sectores*

encharcados. Se evaluaron 16.890 ha, distribuidas en: 13 establecimientos con una afectación promedio del 90%, 9 establecimientos con una afectación del 75% y 3 establecimientos con una afectación del 65%. Se identificaron los establecimientos en la imagen, se digitalizaron campos de verificación y se calculó el porcentaje de afectación. Esta verificación debe tomarse como estimativa ya que no es posible identificar, en la declaración de Emergencia, el lugar preciso de la afectación y por tanto no se pueden establecer errores de comisión u omisión en la clasificación. No obstante, los resultados indican una adecuada aproximación entre ambos métodos de evaluación con una diferencia promedio en el orden del 15%.

El mapa temático obtenido en la clasificación se transfirió al SIG Idrisi donde, conjuntamente con el mapa de tierras y el de *Lagunas permanentes* y mediante operaciones de reclasificación, superposición y tabulación cruzada se obtuvo el mapa final (Figura 4). En la Tabla 4 se presentan la superficie y distribución porcentual de cada unidad territorial definida.

Unidad	Superficie	%
Lagunas permanentes	5.200	3
Lagunas transitorias	23.450	13,7
Tierras mal drenadas	28.250	16,6
Tierras imperfectamente drenadas	83.806	49,4
Tierras bien drenadas	28.603	16,8
Ejidos Municipales	900	0,5
Total	170.209	100

Tabla 4. Superficie de las Unidades delimitadas

Si se compara la extensión de las *Lagunas permanentes*, delimitadas en el mapa de suelo (confeccionado a partir de fotos aéreas del año 1972), con las delimitadas en la imagen de marzo/97, se registra un incremento de 3.970 ha. Esta mayor superficie se corresponde con la existencia de un ciclo de mayores precipitaciones anuales que se inicia en la década del 70 y que, según los registros y tendencias actuales, aún sigue en aumento.

Por otra parte, mediante una operación de tabulación cruzada entre el mapa final y el mapa de suelos, se comprobó que un 18,7% de la superficie ocupadas por las *Lagunas transitorias* coinciden con las *Tierras mal drenadas*, un 14,3% coincide con las *Tierras imperfectamente drenadas* y un 5,7% coincide con las *Tierras bien drenadas*. Esta situación es esperanzadora, dado que se ha establecido como restricción que estas lagunas deberían ser emplazadas en las tierras de menor aptitud productiva.

En cuanto a la disminución de la superficie *Tierras mal drenadas* y *Tierras imperfectamente drenadas* entre el mapa de suelos y el mapa final (5,7% y 9% respectivamente) es consecuencia de la expansión de *Lagunas permanentes* y de la delimitación de *Lagunas transitorias*.

El grado de afectación global por inundación - anegamiento para el evento registrado el 28 de mayo de 1999 (agua en superficie, sectores anegados y sectores encharcados) alcanzó un 60% de la superficie analizada (74% para las *Tierras mal drenadas*, 62% para las *Tierras*

imperfectamente drenadas y 37% a las *Tierras bien drenadas*).

En definitiva, de todas las unidades delimitadas, la que requiere mayor control territorial para su emplazamiento definitivo son las *Lagunas*, porque requieren la construcción de obras hidráulicas tales como sobreelevación de márgenes, descargas controladas o canales de derivación. En este trabajo se logró establecer una primera aproximación de la localización y situación que debería ser analizado, en más detalle, con la topografía y red vial del área.

Por otro lado el conjunto de unidades delimitadas debería analizarse en el marco del funcionamiento hidrológico integral del área, para establecer, entre otros aspectos, qué capacidad de acumulación de agua permanente puede diseñarse, qué superficie debe destinarse a "espejos evaporantes" y con qué recurrencia se formarían y, por último, qué diseño de la red vial y de canalización debe establecerse.

En cuanto al grado de afectación determinado, si bien no era el objetivo particular del trabajo, se ha podido contrastar satisfactoriamente con la afectación declarada en la Emergencia Agropecuaria y la obtenida por el procesamiento digital de imágenes, lo que supone una herramienta de gran utilidad para evaluar este fenómeno con fines fiscales.

Ejemplo de aplicación para la creación de un Sistema de Información Geográfica en ambientes inundables del Departamento Roque Sáenz Peña (Córdoba)

El Departamento Roque Sáenz Peña (Figura 1) fue el más afectado por las inundaciones ocurridas durante los años 1998, 1999 y 2001. A los efectos de contar con una base de datos georreferenciada sobre la estructura territorial del mismo, se confeccionó un SIG tomando como base cartográfica los mapas

<i>Capa</i>	<i>Fuente*</i>	<i>Obtención</i>	<i>EMC</i>	<i>Escala</i>	<i>Elemento SIG</i>
Cuencas 1° orden (Distritos)	1	Digitalización en pantalla	30 m	1:100.000	Polígonos
Cuencas 2° orden (Consortios)	1	Digitalización en pantalla	30 m	1:100.000	Polígonos
Red de drenaje transitoria	1	Digitalización en pantalla	30 m	1:100.000	Líneas
Red de drenaje permanente (canales)	2	Digitalización en tableta	25 m	1:100.000	Líneas
Lagunas	1	Digitalización en pantalla	30 m	1:100.000	Polígonos
Paisajes	1	Digitalización en pantalla	30 m	1:100.000	Polígonos
Rutas	1	Digitalización en pantalla	30 m	-	Líneas
Camino	3	Digitalización en tableta	11 m	1:50.000	Líneas
Curvas de Nivel	3	Digitalización en tableta	11 m	1:50.000	Líneas
Puntos acotados	3	Digitalización en tableta	11 m	1:50.000	Puntos
Suelos	4	-	-	1:500.000	Polígonos
Departamentos - Pedanías	4	-	-	1:500.000	Polígonos
Poblaciones	3	Digitalización en tableta		1:50.000	Polígonos
Composiciones 453 imágenes Landsat	5	-	-	-	-

Tabla 5. Capas del SIG

***Fuentes:**

1. Generación elementos cartográficos a partir de imágenes de satélites.
2. Cartas Imagen de Satélite del Inst. Geográfico Militar - Escala 1:100.000.
3. Hojas Topográficas del Instituto Geográfico Militar - Escala 1:50.000
4. Atlas Digital de Suelos de la Republica Argentina - Aeroterra S. A. e INTA (reproducido con autorización)
5. Imágenes provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE)- Programa DISPA (reproducidas con autorización).

de los Distritos de Ordenamiento Ambiental: General Levalle – Curapaligüe – Laboulaye y Rosales - Leguizamón - Villa Rossi. Esta información fue generada a partir de la metodología descrita en el apartado 3.1. Por otro lado, se incorporaron datos de otras fuentes cartográficas para aumentar el volumen de información del SIG. La Tabla 5 enumera la fuente de información, la forma de obtención, el error medio cuadrático (de la corrección geométrica de las imágenes o de la transformación analógica - digital), la escala de cada fuente y el elemento para cada una de las capas que constituyen el SIG.

En la tabla 6 se detallan las componentes temáticas de la información de cada capa vectorial y las características de las imágenes de satélite que componen la base de datos del SIG.

Además se incorporó información auxiliar sobre las inundaciones en el Departamento Roque Sáenz Peña:

- Una presentación multimedia en *Power Point* que sintetiza el problema y plantea las principales soluciones a nivel organizacional y técnico.
- Un video reproducible en *Media Player de Windows* sobre el evento de inundación de 1998 de 8 minutos de duración.
- Documentos en formato *pdf* con la descripción del SIG (metadatos) y la descripción de los dos Distritos Ordenamiento Ambiental que se han delimitado en el Departamento.

Toda la información se organizó en un CD de tal manera que pudiera ser consultada con programas de libre distribución. En tal sentido se incluyeron los siguientes programas: *ArcExplorer* (Copyright © 1991-1997

<i>Capa</i>	<i>Contenido temático</i>
Cuencas 1° y 2° orden (Distritos)	Área, perímetro
Cuencas 3° orden (Consortios)	Área, perímetro, Número de Curva, Pendiente promedio, Longitud del curso principal, Tiempo de concentración.
Red de drenaje transitoria	Longitud
Red de drenaje permanente (canales)	Longitud, Nombre
Lagunas	Área, perímetro, nombre, profundidad, capacidad de embalse
Tierras	Área, perímetro, tipo.
Rutas	Longitud, nombre.
Camino	Longitud
Curvas de Nivel	Cotas
Departamentos - Pedanías	Área, perímetro, nombre.
Poblaciones	Área, perímetro, población total.
Puntos acotados	Cotas
Suelos	Perímetro, superficie unidad cartográfica, símbolo cartográfico, tipo de unidad cartográfica, limitantes de la unidad cartográfica, Índice de Productividad, proporción del suelo más importante en la unidad, posición en el relieve, fase reconocida, Nomenclatura, limitantes del suelo, drenaje, profundidad efectiva, textura, salinidad, sodicidad.
1ra. Imagen	Composición falso color 453. Fecha de adquisición: 28 de Marzo de 1997. Corresponde a un mes de lluvias normales, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> Lluvia en Laboulaye 3 meses previos a la fecha de adquisición: 371 mm Lluvia media en Laboulaye (serie 1970-1998): 379 m
2da. Imagen	Composición falso color 453. Fecha de adquisición: 5 de Mayo de 1999. Corresponde a un mes de lluvias extraordinarias, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> Lluvia en Laboulaye 3 meses previos a la fecha de adquisición: 476 mm Lluvia media en Laboulaye (serie 1970-1998): 379 mm

Tabla 6. Componentes temáticos principales de las capas del SIG.

Environmental Systems Research Institute, Inc.) para efectuar las operaciones de consulta al SIG, con la posibilidad de realizar impresiones en papel y *Acrobat Reader 4* (Copyright © 1987-1999 Adobe System Incorporated) para la lectura de los documentos de texto. La presentación multimedia se ejecuta mediante el asistente de presentaciones portátiles de *Microsoft Power Point*.

CONCLUSIONES

El fenómeno de las inundaciones que afectan recurrentemente a una gran llanura del sudeste de Córdoba, posee una complejidad de causas naturales y antrópicas, cuyos efectos sobre el territorio son de difícil análisis por la amplitud de la zona, la carencia de información y la magnitud de los problemas. No obstante, el uso de la teledetección y los SIG ha facilitado la recolección, sistematización y análisis de información georreferenciada,

para entender la expresión territorial del fenómeno.

La Teledetección ha resultado una herramienta particularmente apta para el estudio un fenómeno, cuyo objeto de estudio es un cuerpo de la superficie terrestre (agua) de fácil discriminación espectral y con una muy baja dinámica temporal, por tratarse de una llanura de muy lento escurrimiento superficial. Ambas características fueron determinantes para la delimitación de unidades territoriales homogéneas y para el seguimiento de eventos extraordinarios mediante imágenes de satélite. Por otra parte, los SIG han demostrado, una vez más, que resultan una poderosa herramienta para recopilar, sistematizar, analizar y representar información geográfica.

Si bien faltan conocimientos hidrológicos de mayor detalle sobre la dinámica del fenómeno, actualmente se cuenta con una importante base de información georreferenciada que está a disposición de dos organismos públicos con competencia territorial en el problema: la Dirección de Aguas y Saneamiento de la provincia de Córdoba y la Dirección de Obras Hidráulicas y Saneamiento de la provincia de Buenos Aires, organismo este que financió parte de los estudios aquí presentados. Es de esperar que dicha información sea utilizada y ampliada en el futuro para una mejor planificación y gestión del riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

- Becerra y otros. 1999. *Plan Director*. Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del Sur de Córdoba. Secretaría Técnica de ADESUR. Universidad Nacional de Río Cuarto. 100 pág.
- Camarasa, A.M., Salas, J. y Chuvieco, E. 2001. Información geográfica y riesgos naturales. *El campo de las ciencias y las artes*, n° 138, pp 103-136.
- Cantero, G.A., Becerra, V., Cantú, M., Castro C.,F., Ferro, G., Ponce, J. y J. Lenardón. 1984. *Propuesta de área para la creación del primer Distrito de Conservación de Suelos de la provincia de Córdoba*. (Ley Nro. 22.428). UNRC – INTA Agencia Río Cuarto y Subsecretaría de Agricultura de Córdoba Delegación Río Cuarto. 33 pág.
- Cantero, G., A., Cantú, M., Cisneros, J.M., Cantero, J.J. Blarasin, M., Degioanni, A., Gonzalez, J., Becerra, V., Gil, H., De Prada, J., Degioanni, S., Cholaky, C., Villegas, M., Cabrera, A., Eric, C. 1998. *Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable*. Editorial Universidad Nacional de Río Cuarto, 119 pags.
- Cebecauer, T. (1997). *Soil waterlogging mapping using LANDSAT TM data*. In Hodgson, S., Rumor, M., Harts, J. J. (eds.) *Geographical information – From Research to Application through Cooperation*. Amsterdam (IOS Press). 527-544.
- Cisneros, J. M. 1994. *Caracterización del hidrohalomorfismo en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba*. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires. Inédita.
- Cisneros, J. M., J. J. Cantero, A. Cantero G. 1997. Relaciones entre la fluctuación del nivel freático, su salinidad y el balance hídrico, en suelos salino-sódicos del centro de argentina. *Rev. UNRC 17 (1)*: 23-35.
- Cisneros, J. M., Cantero, J. J. and A. Cantero G. 1999. Vegetation, soil hydrophysical properties, and grazing relationships in saline-sodic soils of Argentina. *Canadian Journal of Soil Science 79*: 399-409.
- Cisneros, J., Degioanni, A., Gil, H., Cantero, J.J., Cantero, A., Rang, S., Milanese, A., Chiaparelli, A., Pereyra, C., Geymonat, M., Issaly, L., Freire, V., Vigliocco, M. 2001 a. *Propuesta de Creación de los Distritos de Ordenamiento Ambiental: Gral. Levalle – Río Bamba - Laboulaye y Rosales – Leguizamón – Villa Rossi*. Convenio UNRC – Dirección de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la Pcia de Bs.As. 100 p.
- Cisneros, J., Gil, H., Cantero, A., Degioanni, A., Reynero, M., Chiaparelli, A., Pereyra, C., Geymonat, M., Issaly, L., Freire, V., Vigliocco, M. Y Chesta, D. 2001 b. *Propuesta de creación de los Distritos de Ordenamiento Ambiental: Cuenca media y baja del Río Quinto, canales asociados y lagunas interconectadas*. Convenio UNRC – Dirección de Saneamiento y Obras Hidráulicas. Bs.As 100 p.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de la teledetección espacial*. II Edición. Rialp. Madrid.

Davies, P., Bruce, D., Fitzpatrick, R., Cox, J., Maschmedt, D. and Bishop, L. 1998. *A GIS using remotely sensed data for identification of soil waterlogging in southern Australia*.

Dawivedi, R. and Sreenivas, 1998. Delineation of salt-affected soils and waterlogged areas in the Indo-Gangetic plains using IRS-1C LISS-III data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol 19 Nro. 14, 2739-2751.

Degioanni, A.; J. Cisneros, S. Rang, A. Milanesio, J. Chiaparelli, H. Gil, A. Cantero y M. Reynero. 2000. Delimitación de Unidades Territoriales para el Manejo de Excedentes Hídricos en Llanuras Mal Drenadas mediante Teledetección y SIG. *IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Argentina*.

DHI - Danish Hydraulic Institute, 2000. *Diagnóstico de Inundación en la Región Noreste de la Provincia de La Pampa, Argentina*. Inédito.

ERDAS IMAGINE Ver. 8.2 (1995) Manual del Usuario. ERDAS Inc. USA.

ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. Productos: PC Arc/Info, ArcView y ArcExplorer

Eastman, R. 1997 Idrisi for Windows. Version 2.0. Clark University.

ERDAS, Inc., 1995. ERDAS IMAGINE . Atlanta.

Fili, M., Tujcheneider, O., D'Elia, M., Paris, M. y M. Pérez. 2000. La influencia de las aguas subterráneas e el anegamiento de un sector de la llanura pampeana en la República Argentina. *Actas I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas*. Brasil.

Fuschini Mejía, M. 1994. *El agua en las llanuras*. Programa Hidrológico Nacional. UNESCO. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay. 57 pág.

Gorgas, J., Pappalardo, J., Bustos, V. y D. Reynoso. 2000. El Satélite Landsat Vigila el Sur Inundado. Informe Técnico. <http://www.conae.gov.ar>.

Gould, M and J. Herring 2001. Redefining GIS. *4th AGILE Conference: GI in Europe: Integrative - Interoperable - Interactive*.

INTA - SMAGyRR. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables. 1987. *Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Laboulaye*. Córdoba.

Jensen, W., Hodgson, E., Christensen, H., Mackey, J., Tinney, L. and Sharitz, R. 1986. Remote sensing inland wetlands: a multispectral approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52(1):87-100.

Klingebiel, A. and P. Montgomery. 1961. Land Capability Classification. USDA, SCS, Agr. Handbook N° 210. USA.

Koeln, G., Caldwell, D., Wesley, D. and J. Jacobson. 1986. Inventory of wetlands with Landsat's Thematic Mapper. *Proceedings of Tenth Canadian Symposium on Remote Sensing*. pp 153 - 162.

Lunetta, R. and Balogh, E. 1999. Application of Multi - Temporal Landsat 5 TM Imagery for Wetland Identification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65(11):1303-1310.

Milanesio, A., Cisneros, J. M., Rang, S., Gil, H. Y A. Degioanni. 1999. *Propuesta de creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al sur de General Levalle - Curapaligue - Laboulaye*. Informe Final Beca para el Sector Productivo de Consejo de Investigaciones de Córdoba. 60 pág.

Paoli, C., Giacosa, R., Bianchi, H., Mazzon, R., Bernal, G., Macedo, G., Montaverde, C. y R. Bravo. 2000. *Estudios en el área de derrame del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba. Informe Técnico*. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina. 30 pág.

Rang, S., Cisneros, J., Milanesio, A., Gil, H. y A. Degioanni. 1999. *Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón*. Informe Final Beca para el Sector Productivo de Consejo de Investigaciones de Córdoba. 60 pág.

Sader, S., Douglas, A. and Liou, W. 1995. Accuracy of Landsat - TM and Gis rule based methods for forest wetlands classification in Maine. *Remote Sensing of Environment*, 53, 133-144.

Sassone, M., Tardivo, R., y C. Tonini. 2000. Cartografía de Áreas Afectadas por Anegamientos en la Cuenca del Arroyo Cululu a partir de Imágenes TM y SAC-C MMRS Simuladas. *Actas del X Congreso Nacional de Cartografía. Argentina.*

SMAGyRR - Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba. Dirección de Producción y Desarrollo. 1999. *Emergencia Agropecuaria por Anegamiento de Suelos. Decreto 945.*

Tricker, R. 1990 *Sistema de Información y Control Gerencial.* Compañía Editorial Continental S.A. México.